

Laser range finder, e.g. for driverless transport system - measures distance using pulse travel time and light deflection angle to determine position of object in measuring region

Patent Number: DE4340756

Publication date: 1994-06-09

Inventor(s): WETTEBORN HAINER (DE)

Applicant(s): SICK OPTIK ELEKTRONIK ERWIN (DE)

Requested Patent: DE4340756

Application

Number: DE19934340756 19931130

Priority Number(s): DE19934340756 19931130; DE19934345446 19931130; DE19934345448 19931130;
DE19924241326 19921208

IPC Classification: G01S17/42; G01S17/88; G01S7/48

EC Classification: G01S7/481, G01S17/93, G01S17/42, G01S7/481B

Equivalents:

Abstract

The laser appts. includes a pulse laser (11) which transmits controlled light pulses (12) to a measuring region (13). A photoreceiver (22) intercepts light reflected from an object (14) in the measuring region, and a processor circuit (23,30,34,36-40) delivers a distance signal according to the speed of light and the time between transmission and reception of the light pulses (12,12').

A light deflector (15), disposed between the pulsed laser and the measuring region, deflects successive light pulses into different angles in the measuring region. The deflector also sends corresp. angular position signals to the processor circuit. The processor uses the angle and distance signals to determine the object position within a 90 to 270 degree radius.

USE/ADVANTAGE - Laser radar detects distance from pulsed light and detects angle w.r.t. any basis direction in surveyed area.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Patentschrift

⑯ DE 43 40 756 C 2

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 S 17/42
G 01 S 17/88
G 01 S 7/487
G 02 B 26/10

⑯ Aktenzeichen: P 43 40 756.0-35
⑯ Anmeldetag: 30. 11. 93
⑯ Offenlegungstag: 9. 6. 94
⑯ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 30. 7. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Innere Priorität:
P 42 41 326. 5 08. 12. 92

⑯ Patentinhaber:
Sick AG, 79183 Waldkirch, DE

⑯ Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80538 München
S 5454

⑯ Teil in:
P 43 45 448.8
P 43 45 446.1

⑯ Erfinder:
Wetteborn, Hainer, 79183 Waldkirch, DE

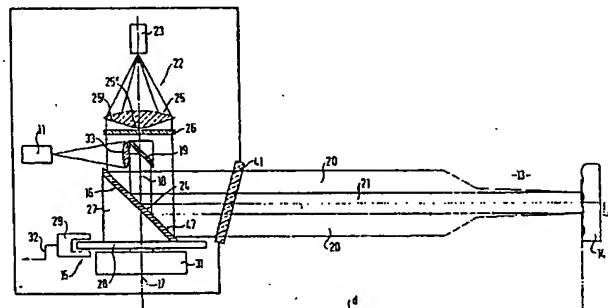
⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 41 28 012 C1
DE 41 23 625 C2
DE 36 15 374 C2
DE 34 41 450 C2
DE 27 45 565 C2
DE 38 08 972 A1
DE 34 15 572 A1
DE 91 03 340 U1
US 50 55 683
US 44 75 035
WO 90 00 746

SKOLNIK, Merrill I.: Radar Handbook, McGraw-Hill
Book Company, New York, 1970, S.1-8 bis 1-10,
S. 21-38 bis 21-41;

⑯ Laserabstandsermittlungsvorrichtung

⑯ Laserabstandsermittlungsvorrichtung nach dem Impulslaufzeitverfahren mit einem Impulslaser (11), der steuert Lichtimpulse (12) in einen Meßbereich (13) sendet, einer Photoempfangsanordnung (22), welche die von einem im Meßbereich (13) befindlichen Objekt (14) zurückgeworfenen Lichtimpulse (12') empfängt und einer Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40), welche unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit aus der Zeit zwischen Aussendung und Empfang eines Lichtimpulses (12, 12') ein für den Abstand des Objektes (14) vom Impulslaser (11) charakteristisches Abstandssignal ermittelt, wobei zwischen dem Meßbereich (13) und dem Impulslaser (11) eine Lichtablenkvorrichtung (15) angeordnet ist, welche an die Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40) ein für ihre momentane Winkelstellung repräsentatives Winkelpositionssignal abgibt und wobei die Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40) aus dem Abstandssignal und dem Winkelpositionssignal den Ort des Objektes (14) innerhalb des Meßbereiches (13) ermittelt, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtablenkvorrichtung (15) zur Aussendung der aufeinanderfolgenden Lichtimpulse (12) unter sich zunehmend verändernden Winkeln ausgelegt und derart angeordnet ist, daß sie ein Empfangs-Impuls-Lichtbündel (20) aufnimmt und zu einer Photoempfangsanordnung (22) lenkt, wobei die Lichtablenkvorrichtung (15) einen Drehspiegel (16) umfaßt und einen 360°-Ablenkwinkel überstreicht.



DE 43 40 756 C 2

DE 43 40 756 C 2

DE 43 40 756 C2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Laserabstandsermittlungsvorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Eine derartige Laserabstandsermittlungsvorrichtung ist aus der deutschen Offenlegungsschrift DE 38 08 972 A1 bekannt. Diese Offenlegungsschrift betrifft eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Verfolgung und Positionsmessung eines Objektes in einem dreidimensionalen Raum. Zu diesem Zweck sind zwei Lichtsender vorgesehen, welche jeweils Lichtstriche aussenden, die in einer Richtung auseinandergezogen und in einer senkrecht dazu verlaufenden Richtung schmal ausgebildet sind. Die beiden von den Lichtsendern ausgesandten Lichtstriche verlaufen vertikal zueinander. Beide Lichtstriche werden durch jeweils eine Ablenkvorrichtung in einer zu ihrer Längserstreckung vertikalen Richtung periodisch abgelenkt, so daß beide Lichtstriche ein gemeinsames Suchfeld überstreichen. Die Ablenkvorrichtungen umfassen jeweils eine rotierende, transparente Plattenplatte, welche gemäß den allgemeinen bekannten optischen Gesetzen je nach ihrer Winkelstellung einen unterschiedlichen Parallelversatz zwischen eintretendem und austretendem Licht bewirkt. Wenn sich ein Objekt im Suchfeld befindet, reflektiert dieses das ausgesandte Licht zu der Meßvorrichtung zurück, wo es über ein Objektiv einem Empfänger zugeführt wird. Aus der Lichtlaufzeit zwischen der Meßvorrichtung und dem reflektierenden Objekt wird der Abstand zwischen Meßvorrichtung und Objekt berechnet. Die Winkelposition des Objektes wird aus der momentanen Winkelstellung der beiden rotierenden Plattenplatten ermittelt. Sobald ein Objekt detektiert und dessen Position ermittelt wurde, wird eine Nachführvorrichtung aktiviert, welche die Meßvorrichtung auf das detektierte Objekt ausrichtet.

Aus dem US-Patent 4 475 035 ist eine Vorrichtung bekannt, mittels welcher die Oberfläche eines Objektes abgetastet werden kann, wobei das Objekt in konstantem Abstand zur Vorrichtung entlang einer vorgegebenen Bahn auf einem Förderband transportiert wird. Dabei kann die Intensität des von der abzutastenden Oberfläche reflektierten Lichts ausgewertet oder der Abstand der abzutastenden Oberfläche von der Vorrichtung mittels eines Laserabstandsermittlungssystems bestimmt werden.

Aus der deutschen Patentschrift DE 34 41 450 C2 ist eine mit Lichtstrahlen arbeitende Detektivvorrichtung bekannt, mittels welcher beispielsweise eine automatische Bewegung eines Fahrzeugs längs einer geradlinigen Bahn ermöglicht wird. Hierzu sendet die Vorrichtung Lichtstrahlen in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung eines Fahrzeugs aus, wobei mittels der Vorrichtung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung des Fahrzeugs positionierte Retro-Reflektoren detektiert werden können. Die Lichtstrahlen führen dabei eine vorbestimmte vertikale Abtastung und mittels eines hin- und herbewegten Spiegels eine geringe horizontale Abtastung durch.

Ferner ist aus den Schriften DE 34 29 062 C2 und DE 40 02 356 C1 eine Abstandsmessung unter Verwendung des Impulslaufzeitverfahrens bekannt.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß bei geringem wirtschaftlichen Aufwand die Positionsbestimmung von Objekten in räumlichen Bereichen ermöglicht wird, wobei die erfundungsgemäße Vorrichtung beispielsweise im Zusammenhang mit der Absicherung von fahrerlosen Transportsystemen sowie allgemeinen Bereichabsicherungen zum Einsatz kommen soll. Insbesondere soll erfundungsgemäß ein möglichst großes Suchfeld ohne anfängliche Justierung und ohne Nachführinrichtung überwacht werden können, die Anzahl der für ein- und austretende Lichtstrahlen vorgesehenen Gehäuseöffnungen der Vorrichtung reduziert werden und die gleichzeitige Erkennung und Verfolgung von mehreren innerhalb des Suchfeldes vorhandenen Objekten ermöglicht werden.

Zur Lösung der genannten Aufgaben sind die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 vorgesehen.

Bevorzugte Dimensionierungen des Laserradars sind durch die Patentansprüche 2 bis 5 definiert.

Durch das Ausführungsbeispiel nach Anspruch 4 wird erreicht, daß in 50 bis 150 und insbesondere 100 µs ein Winkelbereich von etwa 1° durch die Lichtablenkvorrichtung überstrichen wird.

Wenn andererseits nach Anspruch 5 etwa alle 50 µs ein Lichtimpuls kurzer Dauer ausgesendet wird, so bedeutet dies, daß etwa alle 1/2° ein Lichtimpuls ausgesendet wird oder bei einem Gesamtabtastbereich von 180° 360 Impulse. Dies reicht für eine im Sicherheitsbereich erforderliche Winkelauflösung vollständig aus.

Die zwischen zwei ausgesandten Lichtimpulsen liegende Zeit von etwa 50 µs wird für weiter unten beschriebene Tests genutzt.

Von besonderem Vorteil sind die Ausführungsformen nach den Ansprüchen 6 bis 22, denn hierdurch wird auf eine baulich kompakte und optisch sehr effektive Weise eine Abtastung eines gewünschten Raumreiches gewährleistet, wobei der Abtastwinkel bis 360° gehen kann, normalerweise jedoch nur 180° beträgt.

Von besonderem Vorteil ist dabei die konzentrische Ausbildung von Sende- und Empfangs-Impulslichtbündeln nach den Ansprüchen 11 und 12. Hierdurch wird insbesondere eine saubere geometrische Strahl trennung sowie Empfindlichkeit im Nahbereich erzielt.

Die Drehzahlen nach Anspruch 21 sind besonders vorteilhaft, weil hierdurch im Zusammenhang mit den verwendeten Impulsfolgefrequenzen eine ausreichende winkelmäßige und zeitliche Auflösung erzielt wird.

Im Zusammenhang mit den folgenden Ausführungsformen ist die Verwendung eines Computers gemäß Anspruch 23 von großer Bedeutung. Hierdurch können insbesondere die verschiedenen Selbstüberwachungsfunktionen des Systems wahrgenommen werden.

Die Weiterbildungen der Erfindung nach den Ansprüchen 24 und 25 gewährleisten eine für die vorgesehenen Überwachungszwecke voll ausreichende Abstandsauflösung in der Größenordnung von 5 cm/Bit, wobei ein Bit durch eine oder eine halbe Periode der Taktfrequenz definiert ist.

Die an sich durch die Taktfrequenz gegebene Auflösung kann durch die Ausführungsform nach Anspruch 26 und 27 halbiert werden.

Von besonderem Vorteil ist jedoch, daß durch die Verwendung von zwei parallel geschalteten Einzelzählern eine Fehlerüberwachung gemäß den Ansprüchen 28 bis 30 durchgeführt werden kann.

Ein weiterer Fehlertest, der insbesondere beim Ausführungsbeispiel nach Anspruch 30 zusätzlich herangezogen wird,

DE 43 40 756 C 2

ist im Anspruch 31 definiert.

Weiter ist es vorteilhaft, wenn nach den Ansprüchen 32 bis 35 auch der Rauschpegel, dem das Nutz-Impulssignal überlagert ist, berücksichtigt wird, da sowohl die Helligkeit in den überwachten Räumen als auch der Reflexionsgrad der überwachten Gegenstände stark schwanken können.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist durch Anspruch 37 gekennzeichnet. Insbesondere durch diese Weiterbildung der Erfindung kann eine Meßgenauigkeit bis zu 5 cm/Bit erreicht werden.

Durch das Ausführungsbeispiel nach Anspruch 38 können Fehler im Sende- und Empfangssystem der Vorrichtung ermittelt werden.

Die Weiterbildung nach Anspruch 39 ermöglicht es außerdem, die einwandfreie Funktion der vorzugsweise verwendeten Lawinen-Empfangsdiode zu überprüfen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung befindet sich zweckmäßigerweise in einem Gehäuse, welches im Bereich des Ausgangs des Sende-Impulslichtbündels und des Empfangs-Impulslichtbündels durch eine entsprechend der Abtastung gekrümmte Frontscheibe abgeschlossen ist.

Über ein gemäß Anspruch 41 vorgesehenes Interface können alle gewünschten Navigations- und Fehlersignale in geeigneter Weise umgewandelt und abgerufen werden.

Vorteilhafte Anwendungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung entnimmt man dem Anspruch 42.

Der besondere Vorteil der erfindungsgemäßen Laserradarvorrichtung besteht darin, daß sie gegen jedweden Systemfehler abgesichert ist. Dies gilt sowohl für Fehler im optischen Bereich als auch in der Auswerteelektronik.

Die Erfindung wird im folgenden beispielsweise anhand der Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines erfindungsgemäßen Laserradars, 20

Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf den Drehspiegel nach Fig. 1 und den Abtastwinkelbereich,

Fig. 3 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Laserradars,

Fig. 4 einen detaillierteren Querschnitt des Laserradars nach Fig. 1,

Fig. 5 ein Blockschaltbild des erfindungsgemäß bevorzugt verwendeten Zählers mit den daran angeschlossenen Komponenten, 25

Fig. 6 ein Signalspannungs-Zeitdiagramm verschieden starker Licht-Empfangslichtimpulse,

Fig. 7 eine Ansicht analog Fig. 1 in einer um 90° verdrehten Position des Drehspeiegels zur Veranschaulichung der Funktion eines in den Strahlengang eingebrachten Testkörpers,

Fig. 8 eine zur Fig. 7 analoge Ansicht, wobei eine Leuchtdiode zur Testung des Empfangssystems gezeigt ist, und die Fig. 9 bis 13 schematische Draufsichten verschiedener Anwendungen des erfindungsgemäßen Laserradars. 30

Nach Fig. 1 treibt ein Motor 31 einen horizontalen Drehsteller 28 zu einer kontinuierlichen Umlaufbewegung um eine vertikale Achse 17 an. Am Umfang des Drehstellers 28 befindet sich ein Winkelgeber 29, der als Gabellichtschranke ausgebildet ist und über eine Leitung 32 (siehe auch Fig. 3) an eine Steuerstufe 40 innerhalb der zugehörigen Auswerteschaltung angeschlossen ist.

Auf dem Drehsteller 28 ist ein Kreiszylinderkörper 27 so angeordnet, daß seine als Drehspiegel 16 ausgebildete obere Stirnfläche unter einem Winkel von 45° zur Drehachse 17 angeordnet ist. Der Drehspiegel 16 kann in nicht dargestellter Weise auch an einer Spiegelplatte ausgebildet sein, die über einen Spiegelträger auf dem Drehsteller 28 befestigt ist.

Oberhalb des Drehspiegels 16 befindet sich ein wesentlich schmäler ausgebildeter, ebenfalls planer Umlenkspiegel 19, dessen Spiegelfläche einen Winkel von 45° zur Drehachse 17 aufweist und auch als Kreiszylinderkörper realisiert sein kann. Nach Fig. 4 ist auch der Umlenkspiegel 19 als ebene Spiegelplatte ausgebildet. Ein zentraler Bereich 24 des Umlenkspiegels 19 empfängt Licht eines Impulsasers 11 über eine Sendelinse 33 und den Umlenkspiegel 19. Das zunächst horizontale Lichtbündel wird am Umlenkspiegel 19 nach unten umgelenkt, um dann vom Drehspiegel 16 in eine horizontale Richtung zur Frontscheibe 41 der Vorrichtung umgelenkt zu werden. Von dort gelangt das Sendelichtbündel 21 in den Meßbereich 13, in dem beispielsweise ein lichtreflektierendes Objekt 14 angenommen ist, von dem Streulicht als Empfangslichtbündel 20 durch die Frontscheibe 41 im Sinne eines Autokollimationstrahlenganges zurück zum Drehspiegel 16 gelangt. Das Empfangslicht 20 trifft seitlich des zentralen Bereiches 24, auf den das Sendelicht 21 und insbesondere der Mitteleinfallslichtstrahl 18 auftreffen, auf einen Ringbereich 47 des Drehspeiegels 16, um am Umlenkspiegel 19 vorbei zu einem Interferenzfilter 26 reflektiert zu werden, hinter dem sich eine Empfängerlinse 25 befindet, die Bereiche 25', 25'' unterschiedlicher Brennweite aufweist, um auch sehr nah an der Vorrichtung angeordnete Objekte einwandfrei erkennen zu können. 45

Die Empfängerlinse 25 konzentriert das Empfangslicht auf einem Photoempfänger 23 und bildet zusammen mit dem Photoempfänger 23 eine Photoempfangsanordnung 22. Der Drehspiegel 16, der Drehsteller 28 und der Motor 31 stellen zusammen eine Lichtablenkvorrichtung 15 dar, die die Sende-Impulslichtbündel 21 und Empfangs-Impulslichtbündel 20 um die Achse 17 herum rotieren läßt. Auf diese Weise kann ein Abtastwinkelbereich von bis zu 360° realisiert werden. Nach den Fig. 2 und 5 erstreckt sich jedoch die Frontscheibe 41 nur über einen Winkel von etwa 180°, was z. B. für die vollständige Überwachung des vor einem Fahrzeug befindlichen Bereichs ausreichend ist. In Fig. 2 sind außer der Draufsicht nach Fig. 1 auch noch zwei weitere Winkelpositionen des Drehspeiegels 16 und des Sende-Impulslichtbündels 21 veranschaulicht. Das eine Winkelabtastung durchführende Sende-Impulslichtbündel 21 definiert eine Abtastebene 53. Der maximale Abtastwinkelbereich 54 erstreckt sich nach Fig. 2 über 180°.

Nach Fig. 3 veranlaßt die Steuerstufe 40 über Leitungen 42, 43 den Impulsaser 11 zur Abgabe von Lichtimpulsen von einer Dauer von 3 bis 4 Nanosekunden sowie den Umlauf der Lichtablenkvorrichtung 15 mit einer Drehzahl von 1500 UpM. Über die Leitung 32 wird der Steuerstufe 40 vom Winkelgeber 29 in jedem Augenblick die Winkelposition der Lichtablenkvorrichtung 15 mitgeteilt.

Über die Sendelinse 33 und die Spiegel 19, 16 (Fig. 1, 4) werden Lichtimpulse 12 in den Meßbereich 13 geschickt. Sie werden nach einer Laufzeit t als Empfangsimpulse 12' (Fig. 3) von der Photoempfangsanordnung 22 empfangen. Der Photoempfänger 23, insbesondere eine Lawinendiode bildet daraus ein entsprechendes elektrisches Signal, welches über einen Komparator 34 an einen von einem Frequenzgenerator 52 getakteten Zähler 30 angelegt ist. Dem Referenzeingang 35 des Komparators 34 ist der Ausgang eines Rauschpegelmessers 36 zugeführt, dessen Eingang ebenfalls an den Aus-

DE 43 40 756 C 2

gang der Photoempfangsanordnung 22 angeschlossen ist. Über eine Leitung 44 meldet der Rauschpegelmesser 36 den jeweils vorliegenden Rauschpegel auch einem Computer 38.

Das Ausgangssignal des Photoempfängers 23 ist außerdem dem Eingang eines Spitzenwertdetektors 37 zugeführt, dessen Ausgang ebenfalls an den Computer 38 angelegt ist.

5 Vom Impulsgeber 11 führt eine Steuerleitung 45 zum Zähler 30, um diesen jeweils bei Aussendung eines Lichtimpulses anzustoßen. Sobald der Lichtimpuls 12' von der Photoempfangsanordnung 22 empfangen wird, wird der Zähler 30 aufgrund des Anschlusses der Photoempfangsanordnung 22 über den Komparator 34 angehalten. Das Zähleregebnis wird dann über die Steuerleitung 46 dem Computer 38 mitgeteilt. Dieser ermittelt daraus die Laufzeit t und berechnet den Abstand d des Objektes 14 nach der Formel

10
$$d = c \cdot t/2 \quad (1)$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist.

15 Da dem Computer 38 über die Leitung 32 und die Steuerstufe 40 die momentane Winkelposition der Lichtablenkvorrichtung 15 bekannt ist, kann nunmehr eine Information über die Polarkoordinaten des Gegenstandes 14 an das Interface 39 weitergegeben werden, wo diese zur weiteren Nutzung z. B. als Navigationssignal oder Fehlersignal zur Verfügung steht.

20 Die Arbeitsweise der beschriebenen Vorrichtung ist wie folgt: Bei durch den Motor 31 zu einer stetigen Drehbewegung angetriebenen Drehspiegel 16 veranlaßt die Steuerstufe 40 den Impulsgeber 11 einen Lichtimpuls 12 von 3,5 Nanosekunden Dauer abzugeben. Über die Lichtablenkvorrichtung 15 wird der Lichtimpuls 12 in den Meßbereich 13 geschickt und gemäß Fig. 1 von einem Objekt 14, welches in Fig. 3 nur gestrichelt angedeutet ist, reflektiert, so daß schließlich ein Empfangsimpuls 12' in die Empfangsanordnung 22 gelangt. Auf diese Weise erreicht das Licht nach einer Lichtlaufzeit von $2, d/c$ (wobei d der Abstand des Objektes 14 von der Vorrichtung und c die Lichtgeschwindigkeit ist) die Photoempfangsanordnung 22.

25 Die Zeit t zwischen dem Aussenden und Empfangen des Lichtimpulses wird mit Hilfe des Zeitintervall-Zählers 30 gemessen. Beim Aussenden des Lichtimpulses 12 wird der Zähler über die Steuerleitung 45 angestoßen und beim Empfangen des über den Meßbereich 13 hin- und hergegangenen Lichtimpulses 12' durch den Photoempfänger 23 über den Komparator 34 wieder angehalten. Bei einer zeitlichen Auflösung des Zählers von 330 ps ergibt sich eine Entfernungsmeßgenauigkeit von 5 cm.

30 Die Aufgabe des Rauschpegelmessers 36 besteht darin, die Detektionsschwelle in Abhängigkeit vom Empfängerrauschpegel nachzuführen. Diese Nachführung stellt eine konstante Falschalarmrate bei veränderlichen Beleuchtungssituationen und Objekt-Reflexionsfaktoren sicher. Der Rauschpegelmesser 36 stellt am Referenzeingang 35 des Komparators 34 eine Triggerschwelle zur Verfügung, die dafür sorgt, daß z. B. nur solche empfangenen Lichtimpulse 12' ein Zählersignal am Komparator 34 auslösen, welches siebenmal so groß wie der kurz vor dem Erscheinen des Lichtimpulses 12' vorhandene Rauschpegel ist. Der Rauschpegelmesser 36 bildet ständig einen Mittelwert des empfangenen Signals über eine Zeit, die sehr viel größer ist als die Länge eines einzelnen Lichtimpulses. Die Mittelwertbildungszeit ist jedoch deutlich kleiner als der beispielsweise 50 μ s betragende zeitliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sende-Lichtimpulsen 12. Auf diese Weise haben die Meß-Sende-Lichtimpulse 12 keinen Einfluß auf den Mittelwert, und beim Erscheinen eines Empfangs-Lichtimpulses 12' am Eingang des Komparators 34 stellt der Rauschpegelmesser 36 am Referenzeingang 35 eine Triggerschwelle zur Verfügung, die – multipliziert mit einem Faktor von z. B. sieben – repräsentativ für den unmittelbar vor dem Eintreffen des Empfangs-Lichtimpulses 12' vorhandenen statistisch maximalen Rauschpegel ist.

35 Die Aufgabe des Spitzenwertdetektors 37, der aus einer Kette von schnellen ECL-Komparatoren mit Selbsthaltung aufgebaut ist, ist die Generierung von Korrekturwerten zur Kompensation der infolge Signaldynamik auftretenden Zeitmeßfehler, was im folgenden anhand von Fig. 6 erläutert wird. In Fig. 6 sind drei verschiedene an der Photoempfangsanordnung 22 nach Fig. 3 ankommende Lichtempfangsimpulse 12' dargestellt, welche eine maximale Signalspannung von 80, 81 bzw. 82 erreichen. Aufgrund eines entsprechend niedrigen Rauschpegels überschreiten sämtliche Empfangs-Lichtimpulse 12' zwar die durch den Rauschpegelmesser 36 am Referenzeingang 35 des Komparators 34 eingestellte Triggerschwelle 79, doch ist die Zeit t , zu welcher die ansteigende Flanke der drei unterschiedlichen Empfangs-Lichtimpulse die Triggerschwelle 79 überschreitet, unterschiedlich. Im dargestellten Beispiel kann der Zeitunterschied bis zu 1,2 ns betragen, was einen Meßfehler von ca. 20 cm entspricht.

40 Erfnungsgemäß werden die Zeitmeßfehler (beispielsweise 84, 85 für die Maximalsignale 80, 81) relativ zur Basiszeit 83, die für das größte vorkommende Maximum 82 angenommen sei, im Computer 38 gespeichert, wo sie für Korrekturzwecke zur Verfügung stehen.

45 Der Spitzenwertdetektor 37 stellt fest, ob sich die am Ausgang des Photoempfängers 23 auftretende Signalspannung U_s innerhalb von beispielsweise sechs vorgegebenen Signalstufen 1 bis 6 befindet und gibt ein entsprechendes Signal über die Steuerleitung 100 an den Computer 38 ab, wo für die aktuell festgestellte Signalspannung der entsprechende Korrekturwert (beispielsweise 84 oder 85) abgerufen und daraus ein korrigiertes Zeitsignal ermittelt wird.

50 Auf diese Weise werden entsprechende Meßfehler eliminiert, und es wird insgesamt eine Genauigkeit von beispielsweise 5 cm/Bit erzielt.

55 Die Zeitfehlereliminierung mittels des Spitzenwertdetektors 37 ist deswegen wichtig, weil der Gesamtmeßbereich der erfungsgemäßen Vorrichtung bei 4 m liegt, so daß beispielsweise ein Meßfehler von 20 cm normalerweise nicht mehr hingenommen werden kann.

60 Da die Steuerstufe 40 den Impulsgeber 11 und die Lichtablenkvorrichtung 15 kontrolliert, kann der Computer 38 jeder Winkelposition der Lichtablenkvorrichtung 15 einen Entfernungsmeßwert zuordnen. Die Auswertung der Meßdaten im Computer 38 besteht aus der Überwachung eines zuvor in Polarkoordinaten abgelegten Schutzfeldes 122", wie es in Fig. 11 beispielsweise für ein fahrerloses, selbststeuerndes Fahrzeug 120 vor dem an der Frontseite des Fahrzeugs 120 montierten erfungsgemäßen Laserradar 121 schematisch dargestellt ist. Immer dann, wenn das Schutzfeld 122" den vom

DE 43 40 756 C 2

Laserradar 121 feststellbaren Fahrbahnrand 101 oder ein sonstiges Hindernis 123 (Fig. 10) erkennt, kann eine entsprechende Gegensteuerbewegung ausgelöst werden, wobei auch der Sektor S1 bis S16, wo sich das Hindernis befindet, ermittelt wird.

Fig. 9 zeigt den einfachsten Anwendungsfall bei einem an der Frontseite mit einem erfindungsgemäßen Laserradar 121 ausgestatteten selbststeuernden Fahrzeug 120, wobei das Schutzfeld 122 auf zwei Fahrbahnbegrenzungen 101 anspricht.

Sobald das Schutzfeld 122 eine der Begrenzungen 101 erfaßt, leitet das Laserradar 121 eine Gegensteuerbewegung ein.

Fig. 10 zeigt ein Beispiel, wo das Schutzfeld 122' vor dem an der Frontseite eines Fahrzeugs 120 angeordneten Laserradars 121 gemäß der Erfindung so eingestellt ist, daß es auf in einem vorbestimmten Abstand r befindliche Hindernisse 123 beispielsweise durch ein Abschalt- oder Bremssignal reagiert.

Nach Fig. 11 ist das Schutzfeld 122" vor dem Fahrzeug 120 so differenziert ausgebildet, daß für unterschiedliche Winkel sektoren unterschiedliche kritische Abstände S1 bis S16 vorgesehen werden können, so daß nicht nur Hindernisse erkannt, sondern auch ihr Winkel und ihr Abstand gegenüber dem Ort des Laserradars 121 festgestellt werden können.

Fig. 12 zeigt ein selbstnavigierendes Fahrzeug 120, dessen Navigationsgerät 125 mit dem erfindungsgemäßen Laserradar über eine Informationsleitung 102 verbunden ist, wodurch das Laserradar 121 mittels seines Erfassungsbereiches 124 von Zeit zu Zeit an Stellen, wo die Koordinaten der Umgebung bekannt sind, das Navigationsgerät 125 auf den aktuellen Stand korrigieren kann.

Die anhand von Fig. 13 gezeigte Anwendung besteht darin, daß das erfindungsgemäße Laserradargerät 121 einen an nähernd rechteckförmigen, entfernungsbegrenzten Schutzbereich 127 definiert, an dessen einer Ecke es so angeordnet ist, daß die Winkelhalbierende des Abtastwinkelbereiches 54 etwa auf der Diagonalen des rechteckförmigen Schutzbereiches liegt. Im diagonal gegenüberliegenden Eckbereich befindet sich eine gefährliche Arbeitsmaschine 126, vor der durch das erfindungsgemäße Laserradargerät 121 Personen, die sich der Maschine nähern, geschützt werden sollen. Wesentlich ist dabei, daß der Schutzbereich 127 durch das erfindungsgemäße Laserradargerät 121 so begrenzt werden kann, daß eine beispielsweise an einer ungefährlichen Stelle bei 103 befindliche Person, obwohl sie sich im Abtastwinkelbereich 54 befindet, nicht erkannt wird, während eine beispielsweise bei 104 an einer gefährdeten Stelle befindliche Person erkannt wird, was dann z. B. zum Abschalten der gefährlichen Arbeitsmaschine 126 führt.

Das erfindungsgemäße Laserradar hat eine Reichweite von 4 bis 6 m und eine Auflösung von besser als 7 cm. Die Erfassungszeit beträgt ca. 40 ms, und der Erfassungswinkel ist in allen Fällen 180°.

Am Interface 39 (Fig. 3) wird beispielsweise im Falle der Anwendung nach Fig. 11 ein Hindernis-Entfernungssignal r erzeugt, das z. B. für ein Stoppsignal im Fahrzeug 120 verwendet werden kann.

Bei der Ausführungsform nach Fig. 11 kann für jeden Sektor S1 bis S16 ein Minimum-Entfernungssignal eingestellt werden.

Bei der Navigationsstützung nach Fig. 12 kann mit einer Meßrate von 360 Messungen in 40 ms gearbeitet werden. Die laterale Auflösung kann in allen Fällen 0,5° betragen, während die Entfernungsauflösung bis auf ±5 cm herabsetzbar ist.

Der entfernungsbegrenzte Schutzbereich 127 nach Fig. 13 kann 3 bis 4 m betragen, wobei dann die Erfassungszeit 80 bis 120 ms ist bei einer Auflösung von 5 cm.

Erfindungsgemäß ist der Zähler 30 aus zwei asynchronen Einzelzählerketten aufgebaut, wobei jeweils ein Zähler auf der positiven und ein Zähler auf der negativen Flanke des 1,5 GHz-Taktes inkrementiert, so daß sich durch Addition beider Zählerstände eine Auflösung von 330 ps ergibt. Wie dies im einzelnen geschieht, wird im folgenden erläutert: Nach Fig. 5 enthält der erfindungsgemäße Zähler 30 zwei asynchron arbeitende Einzelzähler 50, 51, deren Takteingänge 105, 106 über ein ODER-Gatter 71 angesteuert sind. Wichtig ist, daß der Ausgang 72 für den Takteingang 106 des Einzelzählers 51 gegenüber dem Ausgang 72' für den Takteingang 105 des Einzelzählers 50 invertiert ist. Die beiden Eingänge des ODER-Gatters 71 sind über einen Testzählimpulseingang 55 an den Computer 38 bzw. an den Ausgang eines UND-Gatters 73 angeschlossen, dessen beide Eingänge am Schaltausgang eines Flip-Flops 76 bzw. an einen Höchstfrequenzspannungseingang 59 angeschlossen sind, welcher vom Frequenzgenerator 52 mit einer Höchstfrequenzspannung von 1,5 GHz beaufschlagt ist.

Der Schalteingang des Flip-Flops 76 liegt am Ausgang eines ODER-Gatters 75 an, dessen einer Eingang über die Leitung 45 (siehe auch Fig. 3) vom Impulslaser 11 beaufschlagt ist, während der andere Eingang an einem Teststarteingang 58 anliegt, der über eine Steuerleitung 65 mit dem Computer 38 verbunden ist.

Der Ausgang des Komparators 34 (Fig. 3) ist nach Fig. 7 über die Leitung 62 an den Meßstoppeingang 61 des Zählers 30 angelegt, der seinerseits mit dem einen Eingang eines ODER-Gatters 74 in Verbindung steht. Der andere Eingang des ODER-Gatters 74 ist mit dem Überlaufausgang 107 des zweiten Einzelzählers 51 verbunden.

Vom Computer 38 führt eine Steuerleitung 66 weiter zu einem Multiplexer-Schalteingang 67, der mit dem Schalteingang 108 eines Multiplexers 68 verbunden ist.

Die Zählerausgangssignale der Einzelzähler 50, 51 werden an die beiden Eingänge einer Additionsstufe 69 angelegt, welche aus den beiden Eingangs-Zählsignalen die Summe bildet und diese über den Multiplexer 68 einer Ausgangsstufe 70 zuführt.

Das Zählsignal des zweiten Einzelzählers 51 ist über die Steuerleitung 109 außerdem unmittelbar an einen zweiten Eingang des Multiplexers 68 angelegt. Über den Steuereingang 108 kann wahlweise der Ausgang der Additionsstufe 69 oder der Ausgang des zweiten Einzelzählers 51 zur Ausgangsstufe 70 durchgeschaltet werden.

Der Testzählimpulseingang 55 wird vom Computer 38 über eine Steuerleitung 56 angesteuert. Der Teststarteingang 58 wird über eine Steuerleitung 65 ebenfalls vom Computer 38 beaufschlagt.

Die beiden Einzelzähler 50, 51 weisen weiter Reset-Eingänge 110, 111 auf, die über einen Reset-Eingang 63 und eine Steuerleitung 64 vom Computer 38 angesteuert sind.

Mit dem anhand von Fig. 5 erläuterten Zähler 30 werden während des Betriebs des erfindungsgemäßen Laserradargeräts folgende Funktionen ausgeführt:

Während der Drehspiegel 16 den Nutz-Abtastwinkelbereich 54 (Fig. 2, 11, 13) überstreicht, löst jeder vom Impulslaser

DE 43 40 756 C 2

11 abgegebene Lichtimpuls 12 im Moment seiner Abgabe über die Leitung 45 und das ODER-Gatter 75 ein Umschalten des Flip-Flops 76 aus, so daß das angeschlossene UND-Gatter 73 die an seinem anderen Eingang anstehende Höchstfrequenzspannung von 1,5 GHz zum ODER-Gatter 71 durchläßt. Von dort gelangt nun die Höchstfrequenzspannung zu den Zähleingängen 105, 106 der Einzelzähler 50, 51, wobei jedoch das zum Zählereingang 106 des zweiten Zählers 51 gelangende Zählsignal aufgrund des invertierten Ausgangs 72 des ODER-Gatters 71 gegenüber dem Zählsignal am Eingang 105 um 180° phasenverschoben ist. Mit anderen Worten zählt nun der Zähler 50 die ansteigenden Flanken der positiven Halbwellen, der Einzelzähler 51 die abfallenden Flanken der negativen Halbwellen. Dadurch werden während jeder Periode der Höchstfrequenzspannung aus dem Frequenzgenerator 52 zwei Bits durch die Einzelzähler 50, 51 erzeugt, und zwar um jeweils 180° phasenverschoben.

10 Die Zählung der Halbwellen der Höchstfrequenzspannung aus dem Frequenzgenerator 52 wird nun solange fortgesetzt, bis ein Lichtimpuls 12' (Fig. 3) von der Photoempfangsanordnung 22 aufgenommen wird und über den Komparator 34, die Leitung 62, den Meßstoppeingang 61 und das ODER-Gatter 74 ein Stoppsignal an den Rücksetz-Eingang 112 des Flip-Flops 76 abgegeben wird. Daraufhin wird das Flip-Flop 76 in seinen Ausgangszustand zurückgesetzt, worauf das UND-Gatter 73 sperrt und den Höchstfrequenzgenerator 52 vom ODER-Gatter 71 abtrennt. Damit wird die Zählung der Einzelzähler 50, 51 gestoppt, und nunmehr kann der Computer 38, dem dies über die Leitung 46 (Fig. 3) gemeldet worden ist, nicht nur die gemessenen Zählerstände nach Summierung in der Additionsstufe 69 über den Multiplexer 68 und die Ausgangsstufe 70 abrufen, sondern zusätzlich noch zwei Tests durchführen.

15 Nachdem während jeder Periode der Höchstfrequenzspannung zwei Bits erzeugt werden, wird bei einer Frequenz von 1,5 GHz eine zeitliche Auflösung bei der Laufzeitmessung (t) von 330 ps und damit eine Entfernungsmesgenauigkeit von 5 cm/Bit erzielt.

20 Nachdem auf diese Weise eine Laufzeitmessung erfolgt ist, schaltet der Computer 38 über die Steuerleitung 66 und den Multiplexer-Schalteingang 67 den Multiplexer 68 um, so daß dieser nunmehr den über die Leitung 109 anstehenden Zählerstand des zweiten Zählers 51 an den Computer 38 abgeben kann. Dort findet nunmehr ein Vergleich des Summenausgangssignals der Additionsstufe 69 mit dem Doppelten des Zählerstandes des zweiten Zählers 51 statt. Bei einwandfreiem Arbeiten aller Komponenten dürfen sich die beiden Zahlenwerte höchstens um ein Bit unterscheiden. Wird dies vom Computer 38 festgestellt, ist dies ein Zeichen dafür, daß sämtliche Komponenten einwandfrei gearbeitet haben. Ergibt dieser Vergleich jedoch einen Unterschied von mehreren Bits, so erzeugt der Computer 38 ein Fehlersignal und stoppt beispielsweise eine gefährliche Arbeitsmaschine.

25 Der vorgenannte Test kann beispielsweise nach jedem empfangenen Lichtimpuls 12' und der entsprechenden Auswertung einmal durchgeführt werden. Im allgemeinen genügt es jedoch, wenn erst nach einem vollständigen Abtasten des Abtastwinkelbereiches 54 ein derartiger Test durchgeführt wird.

30 Im letzteren Falle wird vom Computer 38 auch noch ein weiterer Sicherheitstest dahingehend durchgeführt, daß an den Testzählimpulseingang 55 über die Zuleitung 56 Testzählimpulse gegeben werden, die über das ODER-Gatter 71 Zählvorgänge in den Einzelzählern 50, 51 auslösen, wobei jedoch diese Testzählung ca. 300 mal langsamer, also beispielsweise mit einer Frequenz von 5 MHz vor sich geht als beim eigentlichen Meßvorgang.

35 Der Zählvorgang wird vom Computer über die Steuerleitung 65, den Teststarteingang 58, das ODER-Gatter 75, das Flip-Flop 76 und das UND-Gatter 73 in ähnlicher Weise ausgelöst, wie das beim eigentlichen Meßvorgang über den Meßstarteingang 57 vor sich geht.

40 Ein einmal ausgelöster Testzählvorgang wird solange fortgesetzt, bis die Zähler 50, 51 voll sind, worauf über den Überlauf-Ausgang 107 des zweiten Einzelzählers 51, die Reset-Leitung 77 und das ODER-Gatter 74 ein Stoppsignal an den Reset-Eingang 112 des Flip-Flops 76 abgegeben wird. Nunmehr kann über die Additionsstufe 69 und die Leitung 109 sowie den Multiplexer 68, welcher vom Computer 38 wieder in geeigneter Weise angesteuert wird, überprüft werden, ob die tatsächlichen Zählerstände mit dem Sollwert übereinstimmen.

45 Durch diesen zweiten Test, der ebenfalls nur einmal nach jeder Abtastung durchgeführt wird, kann geprüft werden, ob die logischen Funktionen korrekt arbeiten. Da der Computer 38 die die Zählung auslösenden positiven und negativen Flanken am Testeingang 55 erzeugt, kann er durch Vergleich der erhaltenen Zählerstände mit der Zahl der ausgegebenen Flanken die einwandfreie Funktion ohne weiteres prüfen. Logische Fehlfunktionen sowie zerstörte Signalleitungen können auf diese Weise sicher aufgedeckt werden.

50 Die Anordnung von zwei Einzelzählern 50, 51 im Zähler 30 hat also nicht nur den Vorteil einer Verdopplung der Zeitauflösung, sondern ermöglicht auch die beiden vorstehend beschriebenen Sicherheitstests.

55 Die Fig. 4 und 7 zeigen, daß in demjenigen Bereich der 360°-Abtastung des Drehspiegels 16, welcher außerhalb des Abtastwinkelbereiches 54 (Fig. 2) liegt, Testvorrichtungen angeordnet werden können. Eine dieser Testvorrichtungen besteht aus einem im Bereich des Sende-Lichtimpulsbündels 21 angeordneten Testkörper 86, der vorzugsweise aus einem lichtstreuenden Material besteht. Es kann sich hierbei um eine gesinterte Glasscheibe (Glasfritte) handeln, in der das Licht an den kristallinen Partikeln gestreut wird. Eine geschwärzte Ringblende 87 rund um den Bereich, wo das Sende-Impulslichtbündel 21 auftrifft, vermindert unerwünschte Streulichteffekte.

60 Da die streuenden Eigenschaften des Testkörpers 86 bekannt und stabil sind, kann durch Auswertung des Empfangssignals des Photoempfängers 23, der vorzugsweise als Lawinen-Empfängerdiode ausgebildet ist, das einwandfreie Arbeiten des Impulslasers 11 und des Empfangssystems getestet werden.

65 Das Empfangssignal U_s der Photoempfangsanordnung 22 berechnet sich nach der folgenden Formel:

$$U_s = P_s \cdot R_r \cdot R_q \cdot M \cdot R_t \quad (2)$$

In dieser Formel bedeuten:

65 U_s : Empfangssignal
 Ps: Sendeleistung
 Rr: Testzielreflexionsgrad
 Rq: Quantenwirkungsgrad

DE 43 40 756 C 2

M : Multiplikationsfaktor der verwendeten Lawinendiode 23

Rt: Transimpedanz der Lawinendiode 23 (effektiver Arbeitswiderstand der Diode).

Der Computer prüft nun, ob das Empfangssignal Us wenigstens den Wert einer vorgegebenen Grenzwertkonstante K1 erreicht. Ist dies der Fall, so wird die Sende-Empfangsanordnung als einwandfrei bewertet und die Messung fortgesetzt. Sinkt jedoch das Empfangssignal Us bei dem vorbeschriebenen Test unter K1 ab, so meldet der Computer 38 einen Fehler und schaltet beispielsweise die gefährliche Arbeitsmaschine 126 nach Fig. 13 ab.

Gemäß Fig. 8 kann in dem gleichen für die eigentliche Messung ineffektiven Winkelbereich ein weiterer Test dadurch durchgeführt werden, daß entweder innerhalb des Testkörpers 86 oder daneben (Fig. 4) eine Leuchtdiode 88 vorgesehen ist, die durch das abbildende Empfangssystem bzw. die Photoempfängeranordnung 22 auf den Photoempfänger 23 abgebildet wird, welcher wieder als Lawinendiode angenommen wird. Der dadurch in der Lawinendiode 23 erzeugte Gleichstrom 1 führt aufgrund der physikalischen Gesetze zu einem Quantenrauschen (Schrotrauschen), welches über den Rauschpegelmesser 36 (Fig. 3) quantitativ bestimmt wird. Eine Auswertung erlaubt bei bekannten Empfängergleichstrom 1 die Berechnung des sog. Excess-Noise-Index der Lawinen-Photodiode 23, welcher ein direktes Maß für die Qualität bzw. die Funktionsfähigkeit der Lawinen-Photodiode 23 ist. Zusammen mit dem Meßergebnis des anhand von Fig. 7 beschriebenen Tests kann damit indirekt die Systemempfindlichkeit unter allen Umgebungslichtsituationen nachgewiesen werden.

Der vom Rauschpegelmesser 36 ermittelte Rauschpegel errechnet sich nach der folgenden Formel

$$Ur = (2 \cdot q \cdot I \cdot M^{1+k} \cdot f_g)^{1/2} \cdot Rt \quad (3)$$

Der Computer 38 überprüft dann, ob die folgende Forderung erfüllt ist:

$$\frac{Us \cdot (I)^k}{Ur \cdot K1} \geq \frac{1}{(2 \cdot q \cdot M^{1+k} \cdot f_g)^{1/2} \cdot Rt} = K2 \quad (4)$$

In den vorgenannten Formeln bedeuten:

I: Photostrom in der Photodiode 23

Ur: Rauschspannung aufgrund der Beleuchtung durch die Leuchtdiode 88

M: Multiplikationsfaktor der Lawinendiode 23

q: Elementarladung ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb)

Rt: Transimpedanz der Lawinendiode 23

f_g: Grenzfrequenz des Rauschens

K2: zweite Grenzwertkonstante

Nach der Fig. 4 sind unterhalb der unteren Stirnseite 89 der Frontscheibe 41 über den Abtastwinkelbereich 54 gleichmäßig verteilt Leuchtdioden 91 angeordnet, welche jeweils einen Lichtschrankenstrahl 98 nach oben aussenden, der einen gemäß der Fig. 4 abgewinkelten unteren Teil der Frontscheibe 41 durchquert und dann durch den schräggestellten Hauptteil der Frontscheibe 41 hindurch zu einem darüber angeordneten zugeordneten Photoempfänger 92 gelangt. Die Schräglage des Hauptteils der Frontscheibe 41 hat nicht nur den Sinn, eine Durchtrittsmöglichkeit für die senkrechten Lichtschrankenstrahlen 98 zu schaffen, sondern auch den Innenseitenreflex von der Frontscheibe 41 von der Photoempfangsanordnung 22 fernzuhalten.

Erfundengemäß weist der untere abgewinkelte Teil der Frontscheibe 41 über den Umfang verteilt zwei auf ihrer äußeren Fläche mattierte bzw. aufgerauhte Bereiche 41' auf, durch welche das vom zugeordneten Lichtsender 91 ausgehende scharfgebündelte Licht 131 bei Nichtvorhandensein eines in Fig. 4 eingezeichneten glättenden Ölfilms 128 in einen wesentlich größeren Raumwinkelbereich 129 gestreut wird, so daß der zugeordnete Lichtempfänger 92 nur eine geringe Lichtmenge vom Lichtsender 91 erhält.

Schlägt sich jetzt auf der aufgerauhten äußeren Fläche des mattierten Bereiches 41' beispielsweise ein Ölfilm 128 nieder, so hebt dieser aufgrund des nur geringen Brechungsindexunterschiedes zum darunterliegenden Material der Frontscheibe 41 die starke Lichtstreuung des Bündels 131 auf, so daß nunmehr ein konzentriertes Lichtbündel 130 den zugeordneten Lichtempfänger 92 trifft und ein wesentlich stärkeres Lichtempfangssignal am Lichtempfänger 92 auslöst. Die starke Zunahme des Ausgangssignals des Lichtempfängers 92 ist also ein Maß dafür, daß sich auf der aufgerauhten Oberfläche des mattierten Bereiches 41' ein glättender Flüssigkeitsfilm niedergeschlagen hat.

Von den über den Umfang der Frontscheibe 41 verteilten Lichtsender-Lichtempfänger-Paaren 91, 92 ist zumindest zweien ein mattierter Bereich 41' zugeordnet, um für den Fall eines defekten optoelektronischen Bauelements eine Redundanz zu schaffen.

Weiter wird erfundengemäß vom Computer die Motordrehzahl und das Systemtiming überwacht. Es erfolgt eine zeitliche und logische Programmablaufüberwachung.

Die Überwachung der elektronischen Funktionen erfolgt erfundengemäß durch einen RAM-, ROM-, ALU-, Watchdog-Test, A/D-Wandler (Verschmutzungsmessung, Rauschpegelmessung), D/A-Wandler (Komparatortest), Spitzendetektor, Stopp-Komparator und Oszillatoren für den Computer 38 und den 1,5 GHz-Zähler.

Erfundengemäß sind zwei optoentkoppelte, dynamische, rückgelesene Eingriffsleitungen vorgesehen. Der Nachweis der Systemleitung basiert auf einer Worst-Case-Leistungsbilanz. Es erfolgt eine einfahrsichere Ansteuerung des Lasers (Augensicherheit). Weiter kann ein Zugriffsschutz für den Einrichtungsmodus über Pass-Worte erreicht werden. Durch das beschriebene Lichtgitter ist eine Verschmutzungserkennung und -warnung gewährleistet.

Es liegt ein definiertes Anlaufverhalten des Systems bzw.

der Schnittstelle vor. Nach dem Einschalten der Einrichtung werden alle o.g. Tests durchlaufen.

DE 43 40 756 C 2

Die Empfindlichkeit der Sender-Empfänger-Anordnung wird so eingestellt, daß noch Objekte mit einem Reflexionsgrad bis hinunter zu 2% erkannt werden.

Das Laserradargerät ist nach Fig. 4 in einem Gehäuse 115 untergebracht, welches vorne durch eine Deckkappe 116 abgeschlossen ist, in deren unterem Bereich die über 180° gekrümmte Frontscheibe 41 vorgesehen ist. Nach Fig. 4 sind Sender und Empfänger in einer als kompakte Baueinheit ausgebildeten Sender-Empfänger-Einheit 49 beispielsweise in Form eines zylindrischen Gehäuses untergebracht.

Patentansprüche

10. 1. Laserabstandsermittlungsvorrichtung nach dem Impulslaufzeitverfahren mit einem Impulslaser (11), der gesteuert Lichtimpulse (12) in einen Meßbereich (13) sendet, einer Photoempfangsanordnung (22), welche die von einem im Meßbereich (13) befindlichen Objekt (14) zurückgeworfenen Lichtimpulse (12') empfängt und einer Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40), welche unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit aus der Zeit zwischen Aussendung und Empfang eines Lichtimpulses (12, 12') ein für den Abstand des Objektes (14) vom Impulslaser (11) charakteristisches Abstandssignal ermittelt, wobei zwischen dem Meßbereich (13) und dem Impulslaser (11) eine Lichtablenkvorrichtung (15) angeordnet ist, welche an die Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40) ein für ihre momentane Winkelstellung repräsentatives Winkelpositionssignal abgibt und wobei die Auswerteschaltung (23, 30, 34, 36, 37, 38, 39, 40) aus dem Abstandssignal und dem Winkelpositionssignal den Ort des Objektes (14) innerhalb des Meßbereiches (13) ermittelt, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtablenkvorrichtung (15) zur Aussendung der aufeinanderfolgenden Lichtimpulse (12) unter sich zunehmend verändernden Winkeln ausgelegt und derart angeordnet ist, daß sie ein Empfangs-Impuls-Lichtbündel (20) aufnimmt und zu einer Photoempfangsanordnung (22) lenkt, wobei die Lichtablenkvorrichtung (15) einen Drehspiegel (16) umfaßt und einen 360°-Ablenkinkel überstreckt.
20. 2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtimpulsdauer so gering ist, daß während dieser Zeit die Lichtablenkvorrichtung (15) als praktisch stillstehend angesehen werden kann.
25. 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtimpulsdauer einige Nanosekunden, zweckmäßigerverweise 1-5, vorzugsweise 2-4 und insbesondere etwa 3 ns beträgt.
30. 4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Winkelgeschwindigkeit der Lichtablenkvorrichtung (15) $0,5 \cdot 10^4$ bis $2 \cdot 10^4$, insbesondere etwa $1 \cdot 10^4$ /sec beträgt.
35. 5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand aufeinanderfolgender Sende-Lichtimpulse (12) um mehrere Zehnerpotenzen, vorzugsweise um großenordnungsmäßig 4 Zehnerpotenzen größer als die Impulslänge ist und/oder daß vorzugsweise die Impulsfolgefrequenz zwischen 5 bis 50, zweckmäßigerverweise 10 bis 40, und insbesondere etwa 20 kHz beträgt.
40. 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) plan ausgebildet ist.
45. 7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) um einen der Einfallslichtstrahlen, vorzugsweise den Mitteleinfallslichtstrahl (18) drehbar ist.
50. 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehachse (17) bzw. der Mitteleinfallslichtstrahl (18) unter 30 bis 60, vorzugsweise 40 bis 50 und insbesondere 45° zur Oberfläche des Drehspiegels (16) verläuft, wobei der Drehspiegel (16) in Richtung der Drehachse (17) gesehen zweckmäßig Kreisscheibenform hat.
55. 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) ein Sende-Impulslichtbündel (21) im wesentlichen von oben empfängt und im wesentlichen horizontal abstrahlt.
60. 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das vom Impulslaser (11) vorzugsweise horizontal abgestrahlte Impulslicht über einen fest angeordneten, vorzugsweise planen Umlenkspiegel (19) um vorzugsweise 90° zum Drehspiegel (16), insbesondere nach unten abgelenkt wird.
65. 11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Impulslaser (11) eine ein paralleles Sende-Impulslichtbündel (21) bildende Sendelinse (33) vorgeschaltet ist.
12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Sende-Impulslichtbündel (21) und das Empfangs-Impulslichtbündel (20) jenseits des Drehspiegels (16) vorzugsweise koaxial zueinander sind und wobei insbesondere das Sende-Impulslichtbündel (21) zentral verläuft und einen kreisförmigen Querschnitt aufweist und das Empfangs-Impulslichtbündel (22) rund um das Sende-Impulslichtbündel herum angeordnet ist und einen kreisringförmigen Querschnitt besitzt und beide Bündel (20, 21) aneinander angrenzen, so daß der Drehspiegel (16) einen zentralen Bereich (24), wo das Sende-Impulslichtbündel (21) auftrifft, und einen peripheren Bereich (47), wo das Empfangs-Impulslichtbündel (20) auftrifft, aufweist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Umlenkspiegel (19) für das vom Impulslaser (11) bzw. der Sendelinse (33) kommende Impulslicht gegenüber, insbesondere über einem zentralen Bereich (24) des Drehspiegels (16) angeordnet ist und das Empfangs-Impulslichtbündel (20) am Umlenkspiegel (19) vorbei zur Photoempfangsanordnung (22) gelangt, wobei der Umlenkspiegel (19) in Richtung des an ihm vorbeigehenden Empfangs-Impulslichtbündels (20) vorzugsweise einen kreisförmigen Querschnitt besitzt.
14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoempfangsanordnung (22) eine das Empfangslicht auf einen Photoempfänger (23) konzentrierende Empfängerlinse (25) umfaßt.
15. Vorrichtung nach Anspruch 13 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Empfängerlinse (25) so groß ist, daß sie das neben dem zentralen Bereich (24) auf den peripheren Bereich (47) des Drehspiegels (16) auf treffende Empfangs-Impulslichtbündel (20) aufnimmt.
16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Eingang der Photoempfangsanordnung (22) ein auf das Spektrum des vom Impulslaser (11) ausgesendeten Lichtes abgestimmtes Interferenzfilter (26) angeordnet ist.
17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Empfän-

DE 43 40 756 C 2

gerlinse (25) zwei Bereiche (25', 25'') mit unterschiedlichen Brennweiten aufweist, die vorzugsweise konzentrisch zueinander liegen.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) an einer Schrägschneibebene eines Kreiszylinderkörpers (27) ausgebildet ist, dessen Zylinderachse mit der Drehachse (17) zusammenfällt.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) an einer ebenen Spiegelplatte (78) ausgebildet ist, die auf einem drehbaren Spiegelträger (48) angebracht ist.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtablenkvorrichtung (15) kontinuierlich in einer Drehrichtung umläuft.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehspiegel (16) auf einem Drehteller (28) angeordnet ist, der von einem Motor (31) zu einer kontinuierlichen Rotation mit vorzugsweise vorgegebener Drehzahl angetrieben ist, wobei die Drehzahl zweckmäßigerweise 1000 bis 3000, insbesondere etwa 1500 UpM beträgt.

22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des Drehtellers (28) ein Winkelgeber (29) angeordnet ist, der die momentane Winkelposition des Drehtellers (28) der Auswerteschaltung (38, 40) meldet.

23. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung einen Computer (38) enthält, in dem alle erforderlichen Rechenoperationen, insbesondere die Berechnung des Abstandes des Objektes (14) auf der Impulslaufzeit (t) ausgeführt werden.

24. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswerteschaltung einen Zähler (30) mit vorzugsweise fest vorgegebener Taktfrequenz umfaßt, der mit dem Impulsgeber (11) bzw. seiner Triggerschaltung so verbunden ist, daß er bei Aussendung eines Lichtimpulses (12) angestoßen wird, und mit der Photoempfangsanordnung (22) so verbunden ist, daß er beim Empfang des gleichen Lichtimpulses (12') durch die Photoempfangsanordnung (22) gehalten wird, und daß aus dem Zählerstand die Laufzeit (t) und vorzugsweise der Abstand des Objektes (14) berechnet wird.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler (30) durch einen Frequenzgenerator (52) beaufschlagt ist, welcher zweckmäßigerweise mit einer Taktfrequenz von 0,5 bis 3,0, insbesondere 1 bis 2 und vorzugsweise etwa 1,5 GHz arbeitet.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler (30) aus zwei asynchronen Einzelzählern (50, 51) aufgebaut ist, von denen einer auf die positiven Halbwellen, insbesondere die ansteigenden Flanken der positiven Halbwellen, und der andere auf die negativen Halbwellen, insbesondere die abfallenden Flanken der negativen Halbwellen einer vom Frequenzgenerator (52) abgegebenen Höchstfrequenzspannung anspricht.

27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Laufzeit (t) eines Lichtimpulses (12, 12') erzeugten beiden Einzelzählerstände addiert und als Maß für die Laufzeit (t) verwendet werden.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe der Einzelzählerstände mit dem verdoppelten Zählerstand eines der Einzelzähler (50, 51) verglichen und ein Fehlersignal abgegeben wird, wenn der Vergleich einen Unterschied um mehr als einige Bits, vorzugsweise ein Bit ergibt.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich nach jeder Auswertung eines Lichtimpulses (12, 12') durchgeführt wird.

30. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich in der Pause zwischen dem Ende einer Abtastung des Abtastwinkelbereiches (54) und dem Beginn der nächsten Abtastung des Abtastwinkelbereiches (54) durchgeführt wird.

31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß in der Pause zwischen zwei Abtastungen des Abtastwinkelbereiches (54) der Computer (38) gesteuert Zählimpulse an die Einzelzähler (50, 51) liefert, das Zählergebnis prüft und ein Fehlersignal abgibt, wenn das Zählergebnis nicht mit der eingegebenen Anzahl von Zählimpulsen übereinstimmt.

32. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoempfangsanordnung (22) über einen Komparator (34) an den Zähler (30) angelegt ist, dessen die Triggerschwelle für die Empfangssignale definierender Referenzeingang (35) das für den Rauschpegel unmittelbar vor dem Signalempfang repräsentative Ausgangssignal eines Rauschpegelmessers (36) zugeführt ist, an dessen Eingang das Ausgangssignal der Photoempfangsanordnung (22) angelegt ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß der Rauschpegelmesser (36) über die Photoempfangsanordnung (22) kontinuierlich die Grundhelligkeit erfaßt und über eine vorbestimmte Zeit, die groß gegenüber der Dauer eines Lichtimpulses (12, 12') und klein gegenüber der Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Sende-Lichtimpulsen (12) ist, gemittelt wird und daß dieser Mittelwert als mittlerer Rauschpegel verwendet wird.

34. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelwertbildungszeit etwa 30% des zeitlichen Abstandes zweier benachbarter Sende-Lichtimpulse (12) beträgt.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 32 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß die durch das Ausgangssignal des Rauschpegelmessers (36) festgelegte Triggerschwelle (79) um ein Vielfaches, vorzugsweise das 2- bis 10-fache, insbesondere das 4- bis 8-fache und besonders bevorzugt etwa das 7-fache größer als der festgestellte mittlere Rauschpegel ist.

36. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß an den Ausgang der Photoempfangsanordnung (22) auch ein Spitzenwertdetektor (37) angelegt ist, dessen Ausgangssignal zur Generierung von Korrekturwerten zur Kompensation der infolge Signaldynamik auftretenden Zeitmeßfehler verwendet wird.

37. Vorrichtung nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß der Spitzenwertdetektor (37) das jeweilige Maximum eines Empfangs-Lichtimpulses (12') erfaßt und ein entsprechendes Maximumsignal an den Computer (38) abgibt, daß im Computer (38) die in Abhängigkeit von der Höhe des Maximums (80, 81, 82) auftretenden Zeitmeß-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

DE 43 40 756 C 2

fehler (84, 85) abgespeichert sind und daß in Abhängigkeit vom festgestellten Maximum (80, 81, 82) ein entsprechender Korrekturwert ermittelt und die gemessene Zeit entsprechend diesem Korrekturwert korrigiert wird.

5 38. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß außerhalb des Abtastwinkelbereiches (54) ein lichtreflektierender oder -streuender Testkörper (86) im Weg des die Abtastbewegung ausführenden Sende-Impulslichtbündels (21) angeordnet ist und der Computer (38) während des Überstreichens des Testkörpers (86) durch das Sende-Impulslichtbündel (21) überprüft, ob das von der Photoempfangsanordnung (22) empfangene Signal wenigstens gleich einem vorbestimmten Grenzwert (K1) ist.

10 39. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß außerhalb des Abtastwinkelbereiches (54) eine Leuchtdiode (88) im Weg des die Abtastbewegung ausführenden Sende-Impulslichtbündels (21) angeordnet ist und der Computer (38) während des Überstreichens der Leuchtdiode (88) durch einen dem Empfangs-Lichtimpulsbündel (20) entsprechenden Bereich des Drehspiegels (16) überprüft, ob das Signal/Rausch-Verhältnis wenigstens gleich einem vorbestimmten Grenzwert (K2) ist.

15 40. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Frontscheibe (41) um die Drehachse (17) gekrümmt ausgebildet ist und sich in Abtastrichtung zumindest über den Abtastwinkelbereich (54) erstreckt.

20 41. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 22 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß an den Computer (38) ein Interface (39) angeschlossen ist, an dessen Ausgang die erwünschten Ausgangssignale und -werte einschließlich Fehlersignalen abgenommen und der weiteren Nutzung zugeführt werden können.

25 42. Laserabstandermittlungsvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie angewendet wird

- bei der Selbststeuerung von Fahrzeugen (120) zur Schaffung eines definierten Schutzbereiches (122) vor dem Fahrzeug (120);
- durch Anordnung an der Frontseite eines Fahrzeuges (120) zum Kollisionsschutz mit Hindernissen (123) durch Definition eines entsprechenden Schutzbereiches (122);
- durch Anordnung an der Frontseite eines Fahrzeuges (120) zur Schaffung eines Kollisionsschutzbereiches (122"), der in mehrere Sektoren (S1 bis S16) des Abtastwinkelbereiches (54) aufgeteilt ist, von denen jeder einen eigenen und wohldefinierten Sicherheitsabstand definiert;
- durch Anordnung an der Frontseite eines Fahrzeuges (120) zwecks Definition eines Erfassungsbereichs (124), aufgrund dessen ein im Fahrzeug angeordnetes Navigationsgerät (125) hinsichtlich seiner einwandfreien Arbeitsweise überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden kann;
- beim Schutz von Personen (104) an gefährlichen Arbeitsmaschinen (126) durch Definition eines entfernungsbegrenzten Schutzbereiches (127), wobei die gefährliche Arbeitsmaschine (126) sich zweckmäßigerweise im von der erfundungsgemäßen Vorrichtung (121) abgewandten Endbereich des Schutzbereiches (127) oder unter der Maschine befindet.

35

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

一
九
五

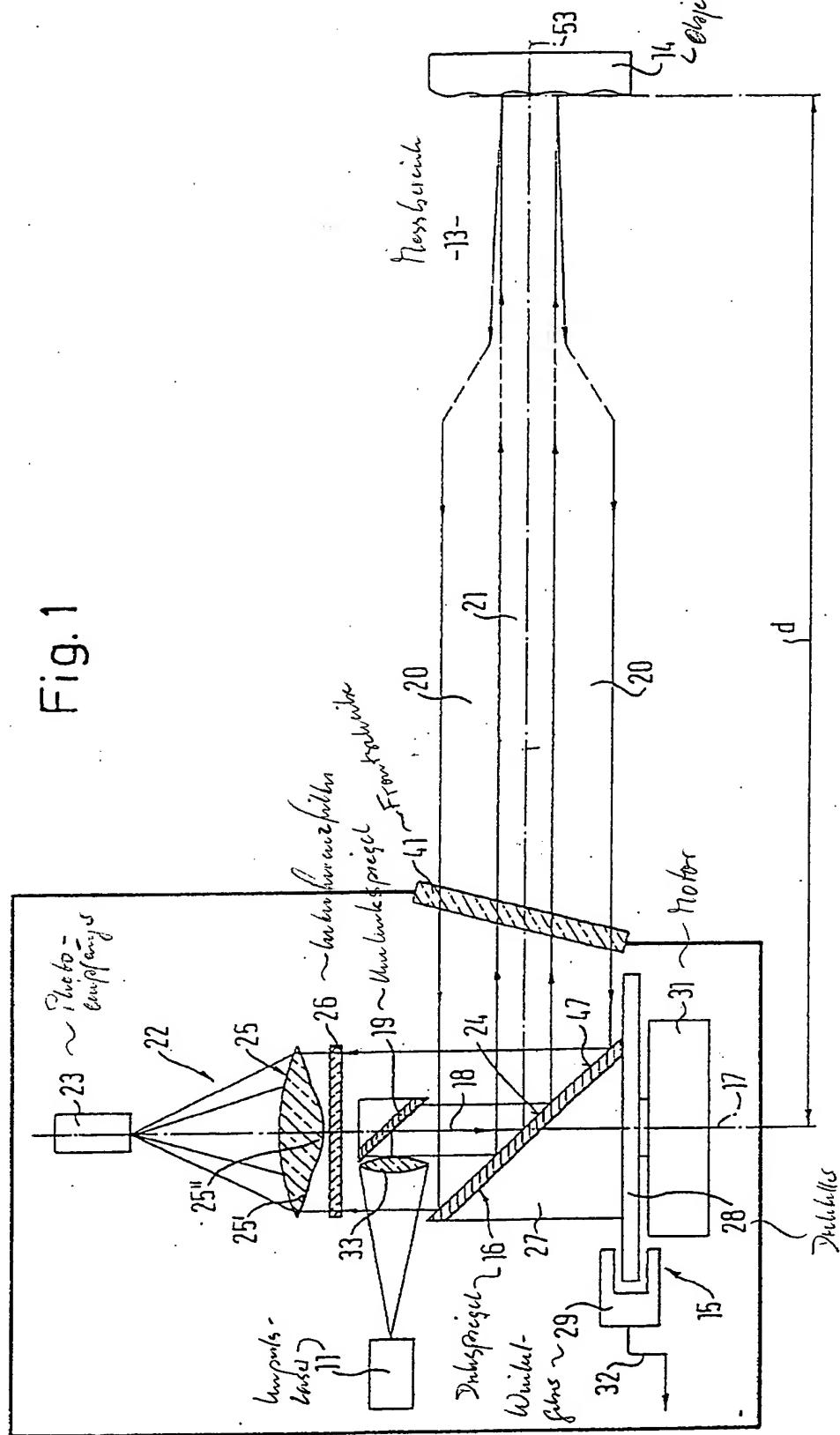


Fig. 2

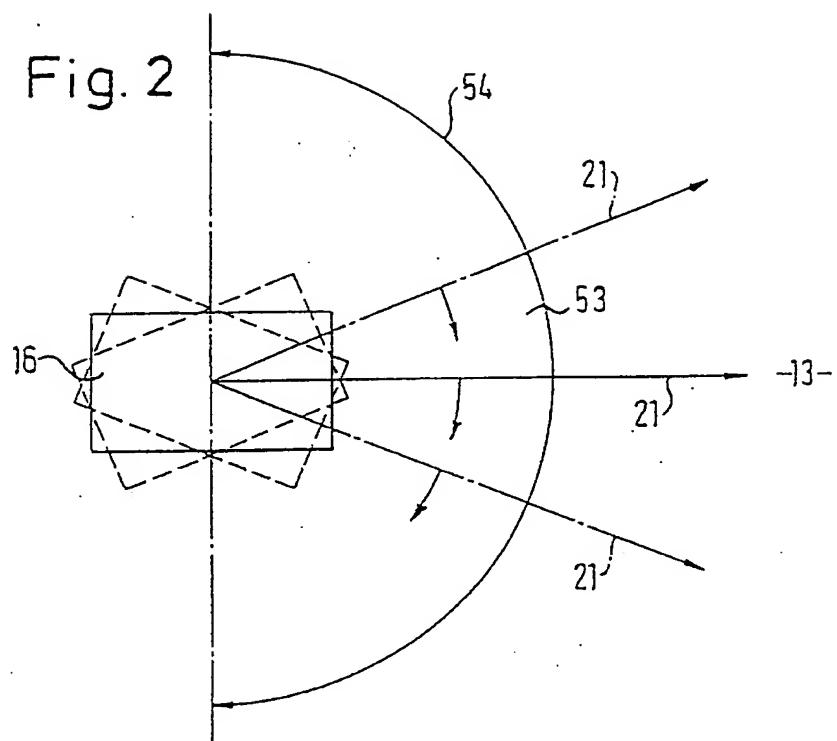


Fig. 3

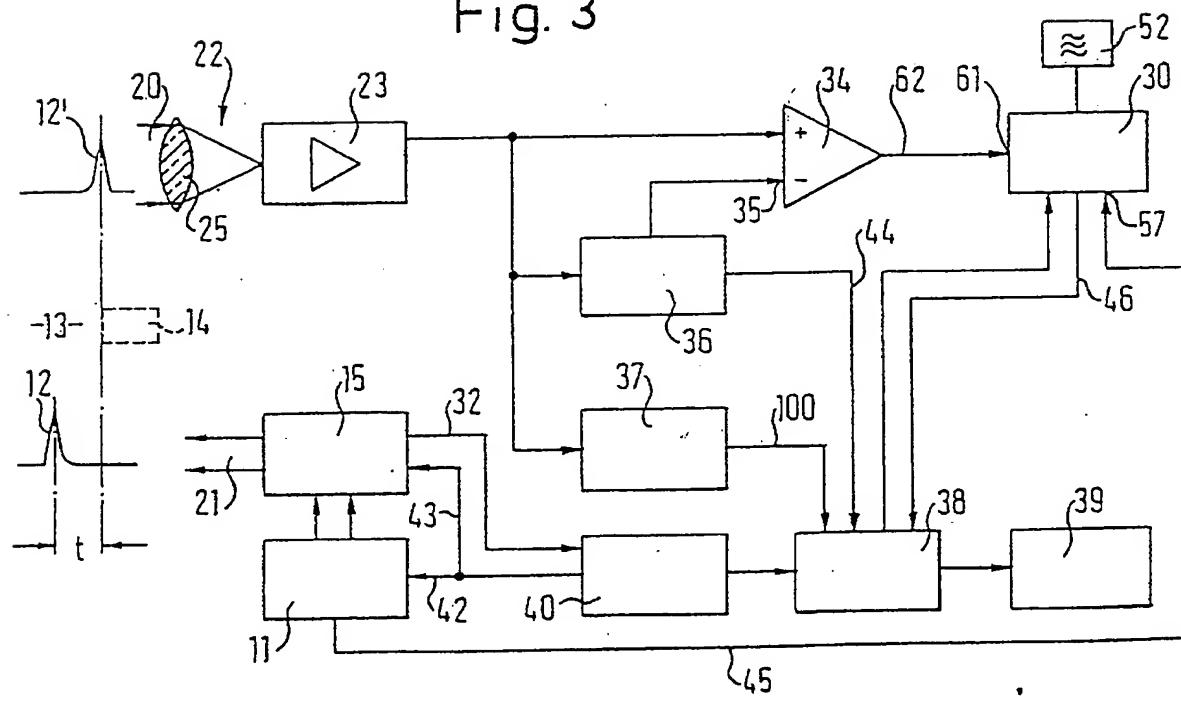


Fig. 4

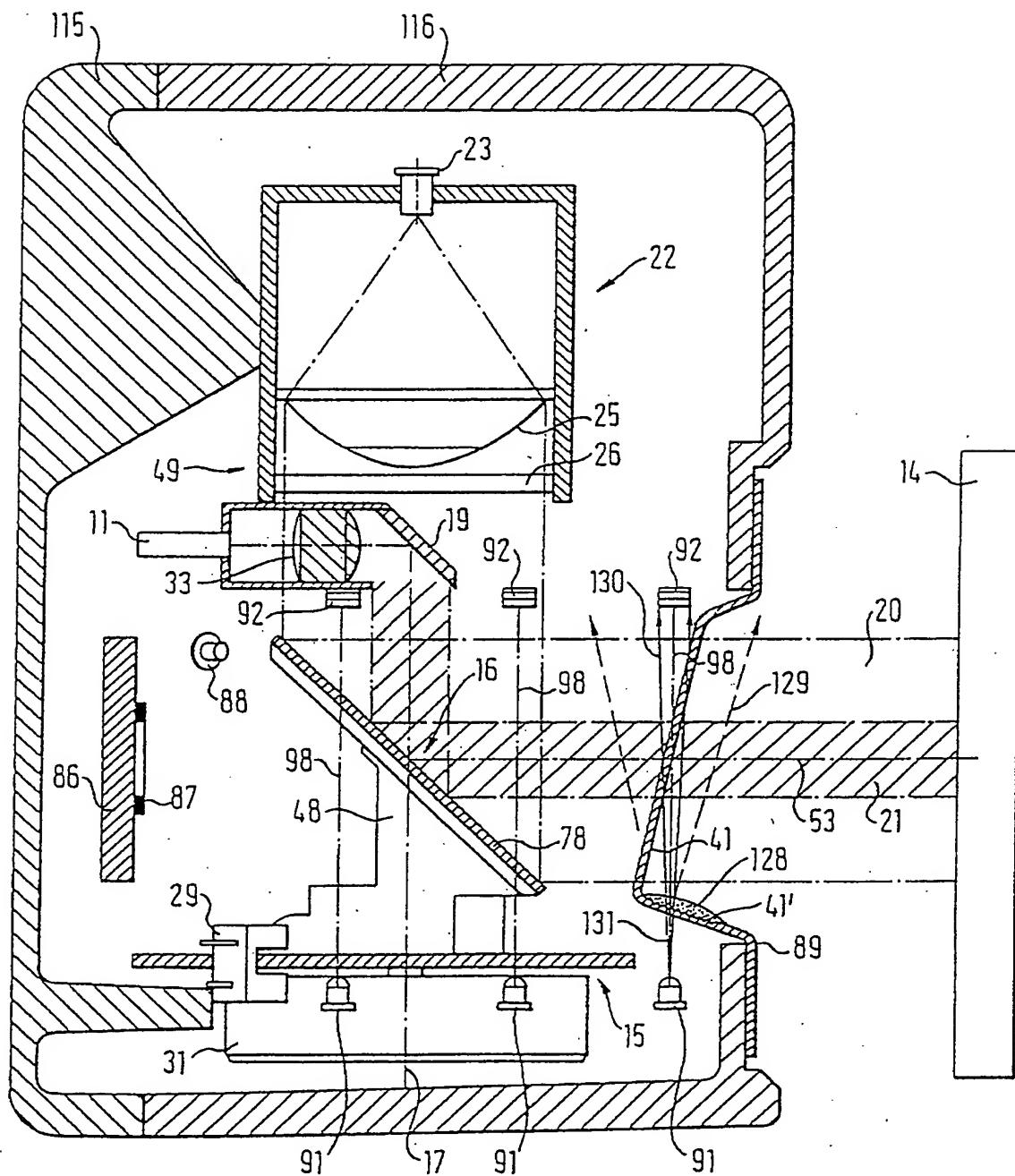


Fig. 5

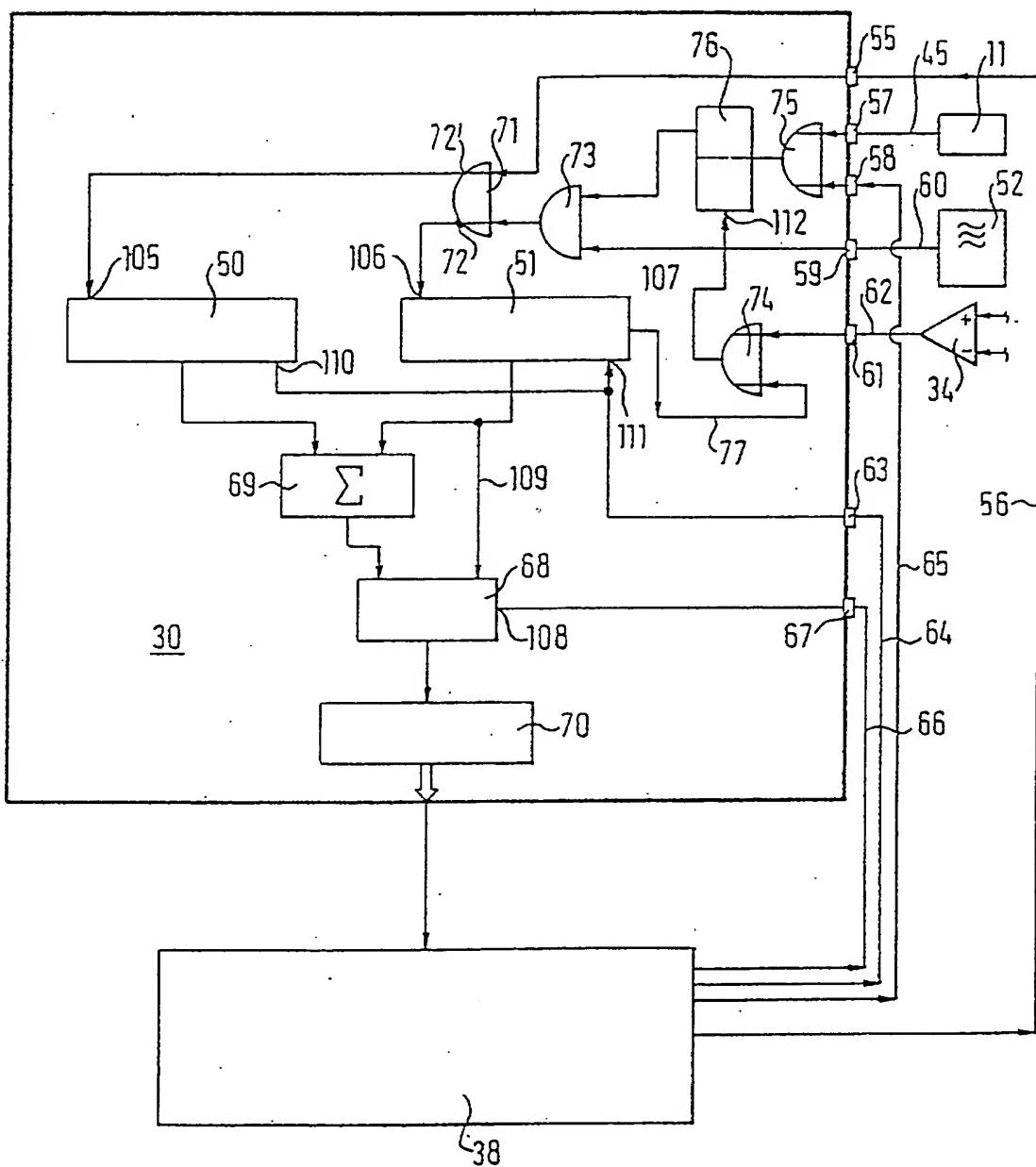


Fig. 6

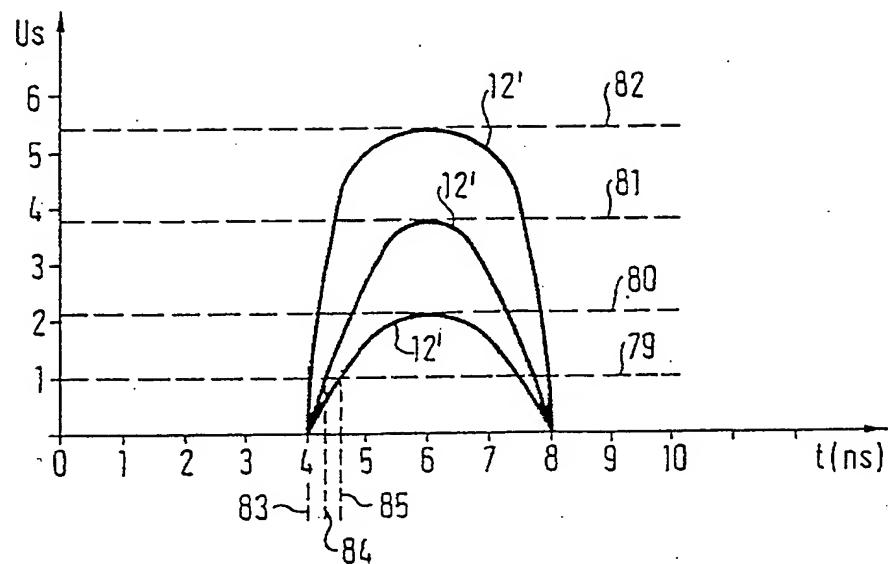


Fig. 7

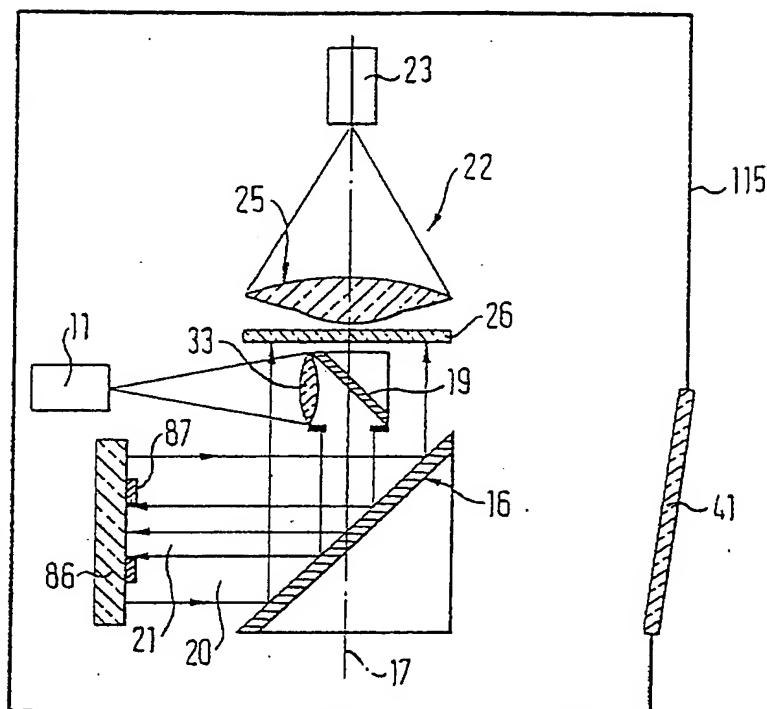


Fig. 8

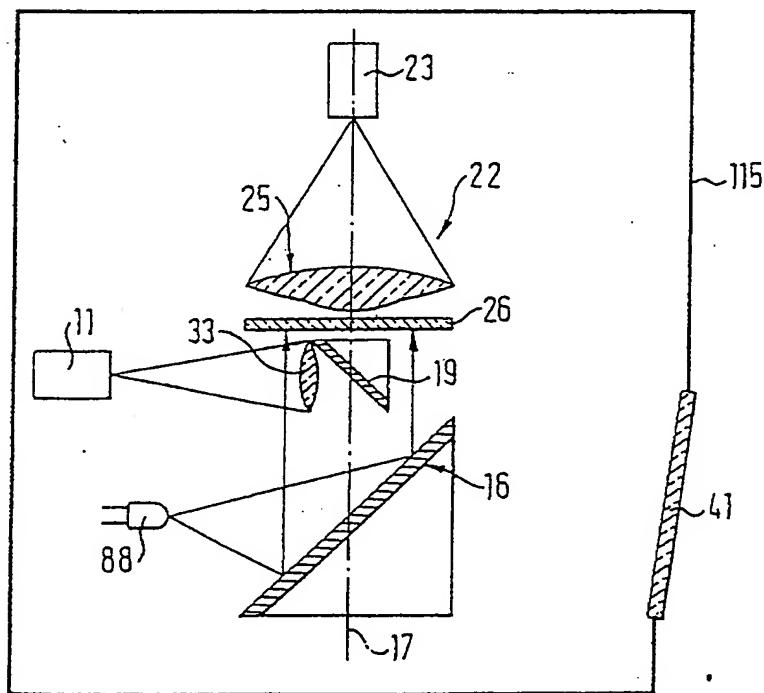


Fig. 9

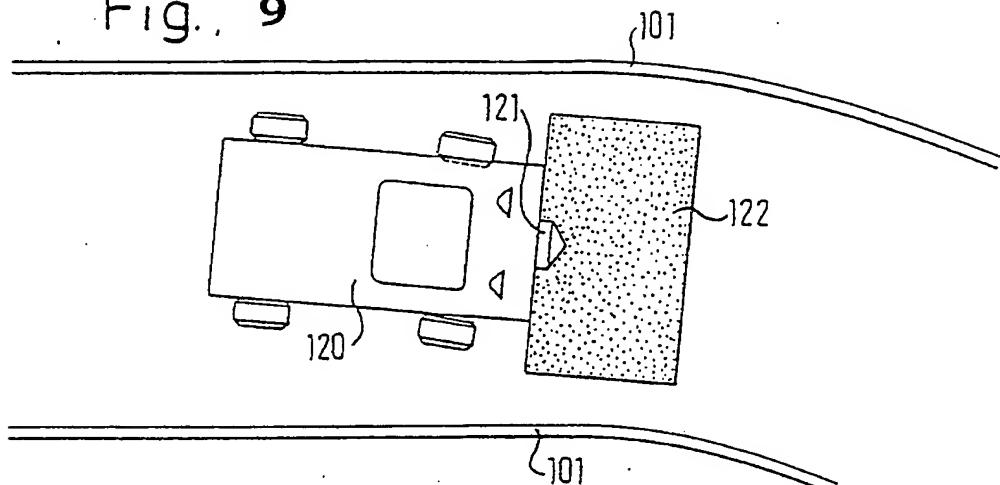


Fig. 10

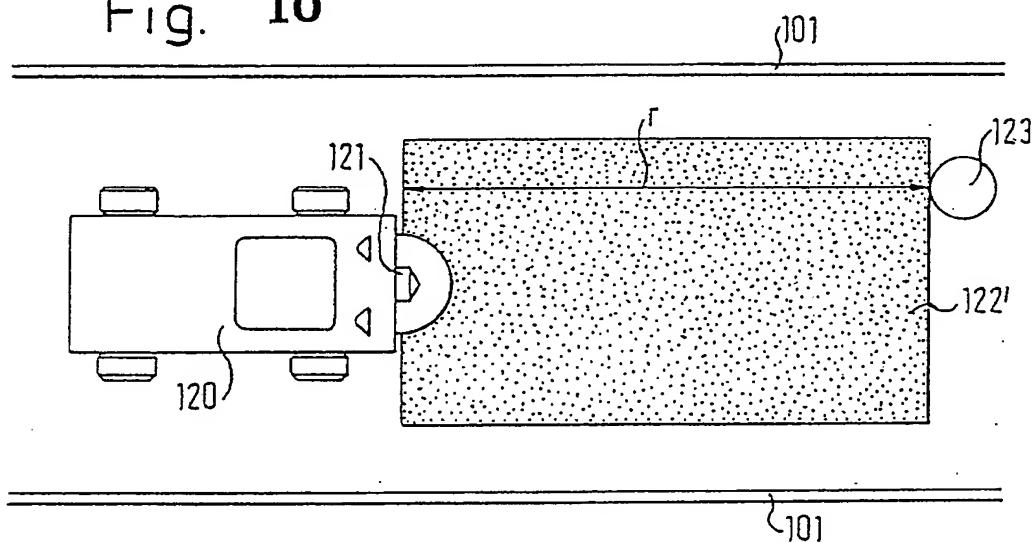


Fig. 11

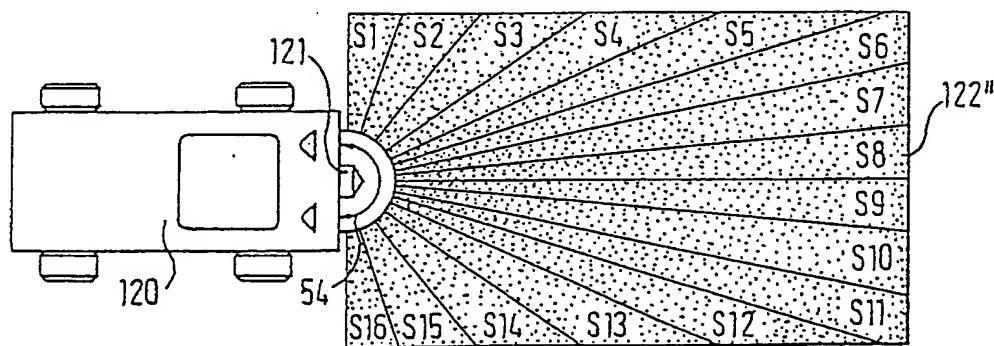


Fig. 12

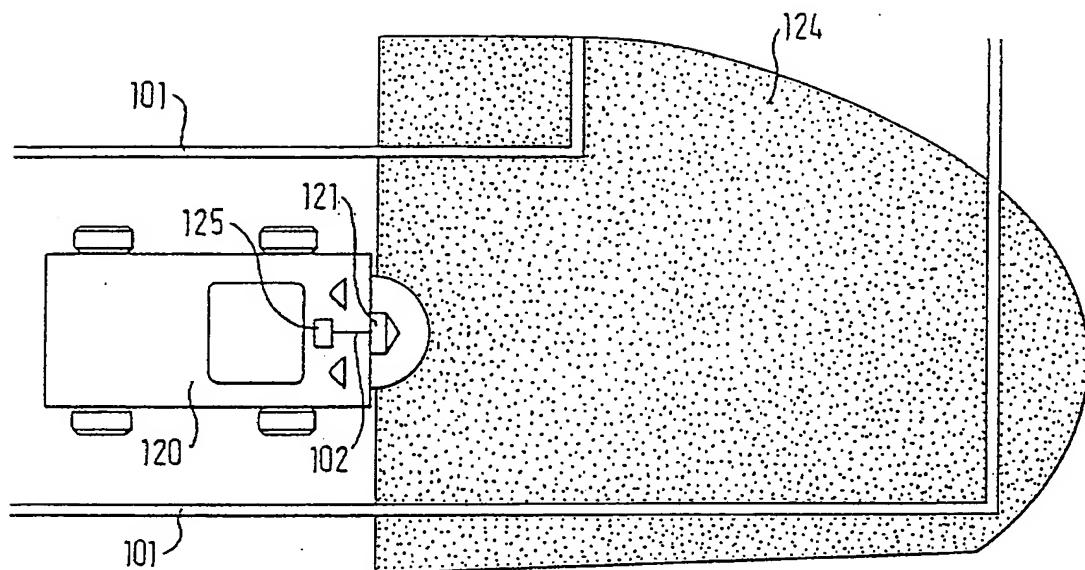


Fig. 13

